**ENLACES SATELITAIS EM BANDA KU PARA APLICAÇÕES DE ALTA DISPONIBILIDADE**

Adilson Batista Carvalho

Briskcom Business Technology

Av. Prudente de Morais, 135 – salas 302 a 306 – Santo Antônio

30350-093 – Belo Horizonte – MG

[adilson@briskcom.com.br](mailto:adilson@briskcom.com.br)

1. **INTRODUÇÃO**

Está bastante disseminado no segmento de energia elétrica o conceito de que enlaces por satélite em banda Ku não são adequados para aplicações que requerem alta disponibilidade.

A ideia recorrente é que enlaces satelitais de alta disponibilidade são apenas possíveis quando se opera em banda C.

1. **OBJETIVO**

O objetivo deste artigo é mostrar que é possível utilizar enlaces em banda Ku para aplicações de missão crítica que requerem alta disponibilidade.

A grande vantagem de utilização de enlaces em banda Ku, em relação a enlaces em banda C, é a significativa diferença de preços entre as duas alternativas.

A utilização de enlaces em banda Ku que atendem aos requisitos de telecomunicações para suporte as atividades de operação do Sistema Interligado Nacional – SIN, descritos no submódulo 13.2 dos Procedimentos de Rede do ONS – Operador Nacional do Sistema, podem trazer uma sensível redução nos custos de telecomunicações sem perda de qualidade.

1. **ESPECTRO DE FREQUÊNCIA**

Tabela 1 – Espectro de frequências utilizado nas comunicações por satélite

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Banda | Faixa de Frequência | Banda | Faixa de Frequência |
| L | 1,0 a 2,0 GHz | X | 8,0 a 10,7 GHz |
| S | 2,0 a 4,0 GHz | K | 18,0 a 27,0 GHz |
| ***C*** | ***4,0 a 8,0 GHz*** | ***Ku*** | ***10,7 a 18,0 GHz*** |
|  |  | Ka | 27,0 a 40,0 GHz |

Tabela 2 – Resolução ANATEL nº 288 - faixas para enlaces em banda Ku

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Enlace de Subida | | Enlace de Descida | |
| 13,75 – 14 GHz | 14,00 – 14,50 GHz | 10,95 – 12,20 GHz | 11,45 – 11,70 GHz |
|  | | 11,70 – 12,20 GHz | |

1. **BANDA C x BANDA KU**

A tabela abaixo mostra algumas características comparativas entre enlaces que utilizam banda C e enlaces que utilizam banda Ku:

Tabela 3 – Banda C x Banda Ku

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Parâmetro** | **Banda C** | **Banda Ku** |
| Atenuação no espaço livre | Menor | Maior |
| Atenuação por chuva | Menor | Maior |
| Disponibilidade nominal | Maior | Menor |
| Interferência (enlaces terrestres) | Maior | Menor |
| Custo equipamento | Caro | Barato |
| Antena | Grande | Pequena |

1. **DIMENSIONAMENTO DE UM ENLACE EM BANDA KU**

O primeiro passo para que se tenha um enlace em banda Ku confiável é a realização do cálculo de enlace.

* 1. **CÁLCULO DE ENLACE**

O cálculo de enlace tem a finalidade de determinar as características dos equipamentos do terminal em função dos requisitos do projeto:

* Disponibilidade desejada;
* Larguras de banda de transmissão e de recepção.

Pela posição geográfica do local de instalação do terminal, podemos obter o nível de sinal irradiado pelo satélite presente nesse local específico.

A figura 1 abaixo mostra o *footprint* do *beam Brazil* do satélite Amazonas 3 da Hispamar.

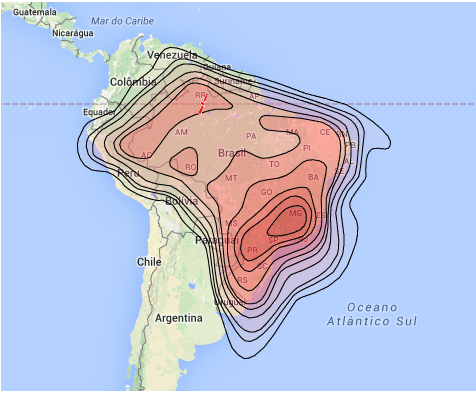


Fig. 1 - Satélite Amazonas 3 – banda Ku – beam Brazil

Com o IBGE, podemos obter em cartas tais como as mostradas abaixo, os índices médios de precipitação pluviométrica e da duração média do período chuvoso no Brasil.

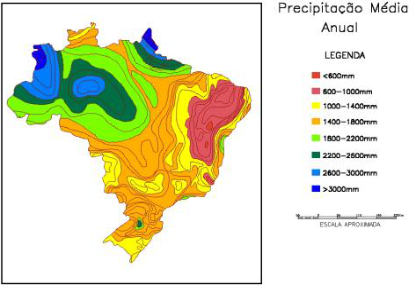
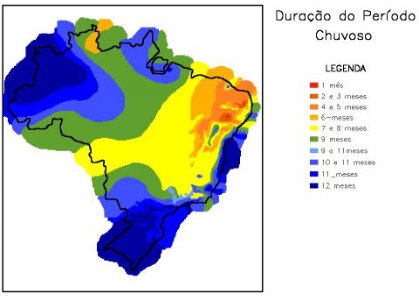


Fig. 2 – Cartas IBGE – Precipitação Pluviométrica

De posse dessas informações e de outros parâmetros que podem ser obtidos junto ao fornecedor do segmento espacial, podemos dimensionar os equipamentos da estação terrena, tais como, qual transmissor e qual antena utilizar.

* 1. **LIMITAÇÕES**

Os satélites geoestacionários são colocados em órbita sobre a linha do equador em uma distância de aproximadamente 36.000 km da superfície da terra e, como *giram* com a mesma velocidade angular da terra, estão *parados* para um observador na terra. Os satélites geoestacionários ocupam posições orbitais definidas, como mostra a figura 3 abaixo.

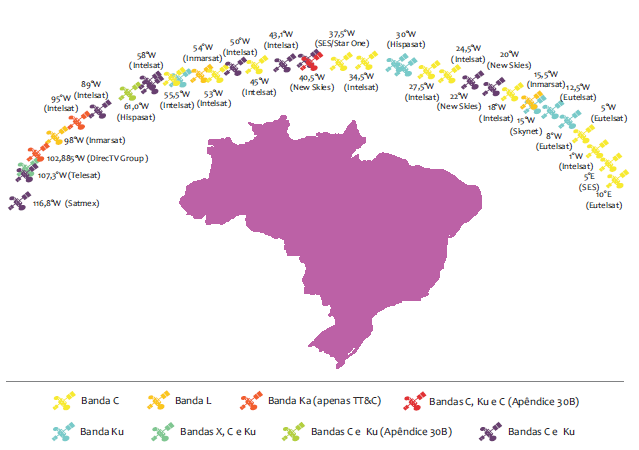


Fig. 3 – Satélites estrangeiros que operam no Brasil – [1]

No dimensionamento de enlaces deparamos com limitações:

* De espectro: recurso limitado e com compartilhamento com sistemas terrestres;
* De tecnologia: interferência com os satélites adjacentes;
* De preço: custo dos equipamentos.

Tabela 4 – Separação Orbital – [2]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Banda | Separação Orbital | Regulamentação ANATEL |
| C | 3\* | - |
| Ku | 2 | Res. 288 |
| Ka | 2 | CP 61/20111 |
| \* Com Restrições | | |

Como mostrado na figura 4 abaixo, devido à limitação do espectro, temos que os satélites S e S’ compartilham as mesmas bandas de frequências. Ao se dimensionar uma estação terrena, temos que ter a certeza de que uma estação que se comunica através do *satélite S* não irá interferir no *satélite S’* adjacente, de acordo com a Recomendação ITU-R S.738.

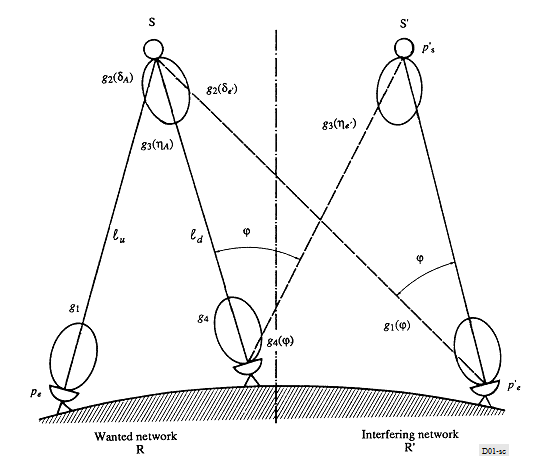


Fig. 4 - Recomendação ITU-R S.738 – [3]

* 1. **ATENUAÇÃO POR CHUVA**

As moléculas de água das gotas de chuva absorvem porções da energia da onda eletromagnética que passa através delas. Quanto menor o comprimento de onda (γ=c/f) há mais interação e, consequentemente, mais susceptibilidade a perda de energia. Há ainda o *scattering,* que é o fenômeno físico causado tanto pela refração, como pela difração, que desvia a onda eletromagnética do seu caminho original.

Existem diversos modelos para cálculo da atenuação por chuva em sistemas espaço-terra, como o descrito pela Recomendação ITU-R P.618-8 (2007).

* 1. **FADE MITIGATION TECHNIQUES (FMT) [4], [5], [6]**

Em nossos projetos utilizamos equipamentos que operam com técnicas adaptativas que foram desenvolvidas com a finalidade de mitigar o impacto da atenuação por chuva em enlaces de radiofrequência. As técnicas mais utilizadas são:

* + 1. Controle da potência de transmissão:

O receptor “entende” que o sinal recebido está sofrendo uma atenuação e, automaticamente, envia um comando para aumentar a potência do transmissor.

* + 1. VCM – Variable Modulation & Coding:

Quando há uma atenuação do nível do sinal recebido, o código de modulação do sinal é alterado para que o receptor consiga resgatar a informação.

* + 1. FEC – Forward Error Correction:

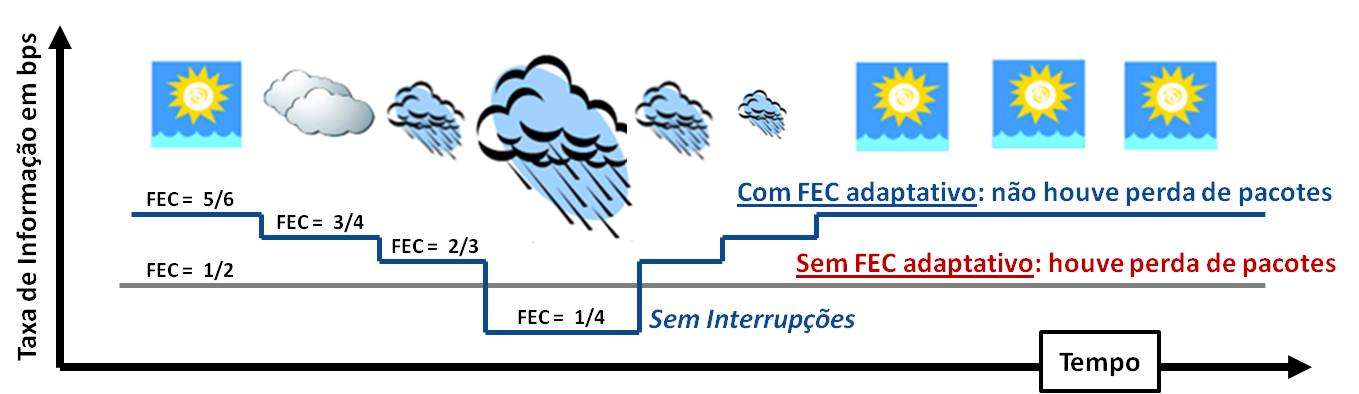
São inseridos menos ou mais bits de paridade dependendo do nível de sinal detectado pelo receptor.

Fig. 5 – FEC Adaptativo

* + 1. ARQ – Automatic Repeat reQueste:

Quando a integridade de um pacote de informação não consegue ser resgatada, o receptor solicita a retransmissão do pacote degradado.

A aplicação de técnicas adaptativas em conjunto tem a função de:

1. Responder imediatamente às mudanças das condições de propagação (atenuação por chuva);
2. Prevenir automaticamente a grande maioria das quedas dos enlaces e das perdas de informação, já que as taxas de informação são automaticamente adaptadas (FEC e/ou modulação) às condições de propagação.
3. **COMUNICAÇÃO COM OS CENTROS REGIONAIS DE OPERAÇÃO DO ONS**

O ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico definiu, no Submódulo 13.2, os requisitos mínimos de telecomunicações para suporte as atividades de operação do Sistema Interligado Nacional – SIN e para os serviços de comunicação de dados e de voz entre:

* Os Centros de Operação do ONS e Centros de Operação dos agentes de operação;
* Centros de operação do ONS e instalações da rede de operação;
* Centros de operação dos agentes de operação e suas instalações.

Para atender à operação do SIN, o serviço de telecomunicações deve dispor de serviços de comunicação de voz e de dados em conformidade com o submódulo 13.2 e com o submódulo 25.12.

Esses serviços, para instalações Classe A, devem apresentar:

* Disponibilidade total de 99,98%, que implica em uma indisponibilidade máxima total de 1 (uma) hora e 45 (quarenta e cinco) minutos em um período de 12 (doze) meses.
* O serviço tem que ser prestado com recursos de telecomunicações disponibilizados através de duas rotas distintas e independentes, sendo uma direcionada para as instalações do COS-R onde se encontra o *Sistema Local de Aquisição de Dados (SAL)* e a outra direcionada para as instalações onde se encontra o *Sistema Remoto de Aquisição de Dados (SAR)*.

No caso de uso de redes por satélite para o provimento dos serviços, os requisitos de qualidade estipulam ainda:

1. Latência (*round trip*): ≤ 700 ms;
2. Variação estatística do retardo: ≤ 90 ms;
3. Taxa de perda de pacotes: ≤ 1%.
4. **INFRAESTRUTURA DE TELECOMUNICAÇÕES COM O COSR-NE**

A Briskcom implantou uma infraestrutura, de altíssima disponibilidade, que nos permite atender qualquer demanda de comunicação com o ONS – COSR - NE com a disponibilidade e os parâmetros de qualidade exigidos pelos procedimentos de rede.



Fig. 6 – Conexão Briskcom com o COSR-NE

A infraestrutura é composta por enlaces satelitais e backbones 1+1 terrestres. Os roteadores e switches foram configurados para privilegiar o tráfego através do circuito de conexão com o COS-R SAL, fazendo o desvio para o circuito de conexão com o COS-R SAR nos casos de indisponibilidade ou quando a 1ª rota apresentar condições operacionais momentaneamente degradadas. A comutação entre as rotas é feita de maneira completamente transparente.

Ressaltamos que estamos utilizando *hubs localizadas em cidades diferentes e satélites de posições orbitais distintas*.

Todos os subsistemas das hubs, bem como sua a infraestrutura IP, são redundantes (1+1) garantindo disponibilidade de 99,99%.

Os equipamentos dos terminais VSAT (amplificadores de potência e diâmetro das antenas) foram dimensionados para garantir uma disponibilidade mínima de 99,5%, considerando aí o desvanecimento causado pelas variações das condições climáticas (atenuação por chuva).

Entre cada uma das estações hub, o COS-R SAL e o COS-R SAR, estamos utilizando 2 circuitos terrestres, estabelecendo configuração redundante 1+3, de altíssima disponibilidade.

1. **CONCLUSÃO**

Podemos concluir que o correto dimensionamento dos equipamentos terminais e a aplicação de técnicas adaptativas fazem com que a que a disponibilidade de enlaces em banda Ku aumente significativamente e que a taxa de perda de pacotes seja ínfima, permitindo sua aplicação em projetos que requerem alta disponibilidade, como é o caso das conexões com os Centros Regionais de Operação do ONS.

Como resultado prático constatamos que os enlaces, já em operação, têm apresentado comportamento compatível com o projeto e resultados altamente satisfatórios, atendendo plenamente aos requesitos estipulados no Submódulo 13.2 dos Procedimentos de Rede.

Concluimos também que, para que a disponibilidade total seja de 99,98%, não basta a aplicação de medidas isoladas e sim de um conjunto dos procedimentos criteriosamente projetados.

Nosso objetivo é replicar o modelo de sucesso para os outros 3 Centros Regionais do ONS.

**REFERENCIAS:**

1. RELATÓRIO ANUAL ANATEL 2013
2. RESOLUÇÃO ANATEL nº 288, de 21 de janeiro de 2002
3. ITU-R RECOMMENDATION S.738 (1992)

Procedure for determining if coordination is required between geostationary-satellite networks sharing the same frequency bands. Modelling And Detection of Rain Attenuation For MF-TDMA Satellite Networks Utilizing Fade Mitigation Techniques

B.C Grémont, R.J. Watson), P.A. Watson, D.D. Hodges

1. ITU RECOMMENDATION ITU-R P.618-8. (2007).

Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems.

1. ITU RECOMMENDATION ITU-R P.837-4. (2003).

Characteristics of precipitation for propagation modelling.

1. ITU RECOMMENDATION ITU-R P.839-3. (1999).

Rain Height model for prediction methods.

1. ONS - PROCEDIMENTOS DE REDE

SUBMÓDULO 12.3 – REQUISITOS MÍNIMOS DE TELECOMUNICAÇÕES

**Autor:**

Adilson Batista Carvalho

Nascido em Passa-Quatro – MG em 17/12/1951.

Graduado em engenharia elétrica pelo Instituto Politécnico da PUC\_MG – Belo Horizonte – MG em 1977, tendo antes estudado na Escola Técnica de Eletrônica de Santa Rita do Sapucaí – MG, sempre com ênfase no estudo das telecomunicações. Em 1978 completou o curso de pós-graduação em engenharia econômica na Fundação Dom Cabral em Belo Horizonte - MG.

Atualmente exerce a função de Diretor de Tecnologia e Projetos da Briskcom Business Technology.

Trabalhou durante 24 anos na CEMIG nas áreas de telecomunicações e de comunicação de dados, tendo se especializado em soluções de telecomunicações e de comunicação de dados para o segmento de energia elétrica.

Trabalhou como consultor da empresa ANDE - Administración Nacional de Electricidadad - Paraguay no período de 1994 e 1995.

Alguns trabalhos publicados:

- Aplicação de filtros seletivos em estações de VHF, no Seminário de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - Curitiba - 1975.

- Sistema de Telecomunicações - Vale do Jequitinhonha - Região "A" - DAEMG - 1973.

- Sistema de Telecomunicações - Vale do Jequitinhonha - Região "B" - DAEMG - 1974.

- PDI - ANDE - Administración Nacional de Electricidadad - Paraguay - 1995